



**UNIVERSITÀ DI PISA**

**FACOLTÀ DI MEDICINA E CHIRURGIA  
CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN  
MEDICINA E CHIRURGIA**

Tesi di laurea

**VARIAZIONI DEL DIAMETRO PUPILLARE  
DOPO INTERVENTO DI CATARATTA**

**CANDIDATO**

Marco Carducci

**RELATORE**

Chiar. Prof. Umberto Benelli

Anno Accademico 2007-2008

## **INDICE**

### **Introduzione**

1. La regolazione neurologica del diametro pupillare..... pag. **1**
2. Fattori condizionanti il diametro pupillare..... pag. **7**
3. Tecniche di determinazione del diametro pupillare..... pag. **22**
4. L'intervento di cataratta..... pag. **30**

**Scopo**..... pag. **43**

### **Materiali e metodi**

1. Pazienti..... pag. **44**
2. Strumento..... pag. **44**
3. Misurazioni..... pag. **46**
4. Analisi statistica..... pag. **47**
5. Tecnica chirurgica..... pag. **48**

**Risultati**..... pag. **49**

**Conclusioni**..... pag. **58**

**Bibliografia**..... pag. **65**

## **RIASSUNTO**

L'intervento di cataratta ha lo scopo di migliorare le funzioni visive dei pazienti affetti da un'opacizzazione del cristallino tramite la sostituzione con una lente intraoculare. E' da tempo noto che il diametro pupillare influisce sulle funzioni visive del paziente pseudofachico, in quanto una variazione dell'area pupillare può determinare il fenomeno dell'abbagliamento, può ridurre il grado di accomodazione apparente, può alterare la funzione binoculare. La variazione del diametro pupillare può inoltre determinare aberrazioni sferiche le quali comportano sia una distorsione dell'immagine, causando così una riduzione dell'acuità visiva, che una alterazione delle misurazioni visive effettuate sul paziente.

Risulta quindi chiaro come una modificazione del diametro pupillare a seguito dell'intervento di cataratta possa condizionare la soddisfazione del paziente a causa dell'influenza che presenta sull'acuità visiva e sulle misurazioni visive. Scopo di questo studio è proprio quello di valutare il diametro pupillare in diverse condizioni di luce, misurando la variazione che

l'intervento di cataratta può determinare sulla dimensione della pupilla.

Per lo studio sono stati arruolati 18 volontari (totale 36 occhi) di età compresa tra 31 ed 89 anni. La valutazione del diametro pupillare è stata effettuata in condizioni di illuminazione scotopica, bassa mesopica (4 lux) e alta mesopica (6,61 lux) in successione mediante un pupillometro ad infrarossi. La valutazione del diametro pupillare è stata effettuata nel periodo pre-operatorio (1 settimana prima dell'intervento) e dopo 10 giorni dall'operazione. Non si sono rilevate complicanze nei pazienti inseriti nello studio.

Il diametro pupillare medio nell'occhio operato era prima dell'intervento  $5,15 \pm 1,01$ , mentre dopo l'intervento era  $4,42 \pm 0,77$ . Nell'occhio non operato invece il diametro pupillare medio prima dell'intervento era  $5,28 \pm 1,1$ , mentre dopo era di  $5,09 \pm 0,98$ . Dalle misurazioni è emerso che in condizione di luce scotopica il diametro pupillare medio presenta una lieve riduzione, sia per l'occhio operato che nel non operato. La riduzione risulta comunque maggiore per l'occhio operato rispetto all'altro. La riduzione non presenta però significatività statistica all'analisi con test t di Student ( $p > 0,05$ ).

Alla valutazione sia con luce bassa mesopica che con luce alta mesopica si evidenzia analogamente alla luce scotopica una riduzione del diametro pupillare medio, che coinvolge entrambi gli occhi. Dal punto di vista statistico tale riduzione non presenta anche in questo caso significatività ( $p > 0,05$ ).

Dallo studio emerge un'assenza di significatività statistica della variazione del diametro pupillare. Ciò permette di confermare che il diametro post-operatorio della pupilla non è in grado di modificare l'entità delle aberrazioni sferiche, che potrebbero invece aumentare in caso di aumento del diametro pupillare.



# INTRODUZIONE

## 1. LA REGOLAZIONE NEUROLOGICA DEL DIAMETRO PUPILLARE

La pupilla ha la funzione di regolare la quantità di raggi luminosi che raggiungono la retina, così da rendere ottimale l'acuità visiva. Tale quantità risulta proporzionale all'area della pupilla, in diretta correlazione al suo diametro. La regolazione del diametro pupillare avviene in dipendenza dello stimolo luminoso, al fine di evitare un abbagliamento della retina o una scarsa nitidezza dell'immagine.

La pupilla è delimitata dallo sfintere irideo e nella razza umana ha in condizioni normali una forma circolare, non ha sempre una posizione perfettamente centrale, ma può essere leggermente spostata, di solito in basso e medialmente.

L'ampiezza della pupilla è regolata dal muscolo sfintere e dal muscolo dilatatore, entrambi situati nell'iride e con funzioni antagoniste.

L'iride ha la forma di un disco circolare posto sul piano frontale davanti al cristallino, è costituita da tre strati che, in senso antero-posteriore, sono: l'endotelio, lo stroma e la parte iridea della retina.

- L'endotelio: costituito da uno strato di cellule appiattite copre la faccia anteriore dell'iride ed è in continuazione con quello della faccia posteriore della cornea, rivestendo così la camera anteriore;

- Lo stroma: che forma lo strato fondamentale dell'iride, è costituito da tessuto connettivo con scarse fibre elastiche, fibrociti, macrofagi e cellule pigmentate, è percorso dai vasi e dai nervi propri e contiene il muscolo sfintere della pupilla. Quest'ultimo è un anello appiattito costituito da fascetti di muscolatura liscia che decorrono parallelamente al margine pupillare, della larghezza di 1 mm e dello spessore di 40-80  $\mu\text{m}$ .

- La parte iridea della retina: formata da due strati, uno interno ed uno esterno. Lo strato interno è costituito da un piano di grosse cellule poliedriche, che contengono piccoli granuli rotondi ricchi di pigmento fortemente scuro, tanto che tutto lo strato appare quasi uniformemente nero. Lo strato esterno è in continuazione con lo strato esterno della parte ciliare della retina ed è



formato da cellule mioepiteliali che vanno a formare il muscolo dilatatore della pupilla. Le cellule mioepiteliali hanno aspetto fusiforme, prendono contatto con le cellule adiacenti come un normale epitelio cubico semplice, ma dal loro corpo prende origine un prolungamento contrattile che va ad anastomizzarsi con quelli delle cellule circostanti.

La regolazione del diametro della pupilla avviene tramite l'azione antagonista dei due muscoli, lo sfintere, che determina miosi e il dilatatore, responsabile della midriasi. L'innervazione dei due muscoli che regolano il diametro pupillare risulta chiaramente opposta.

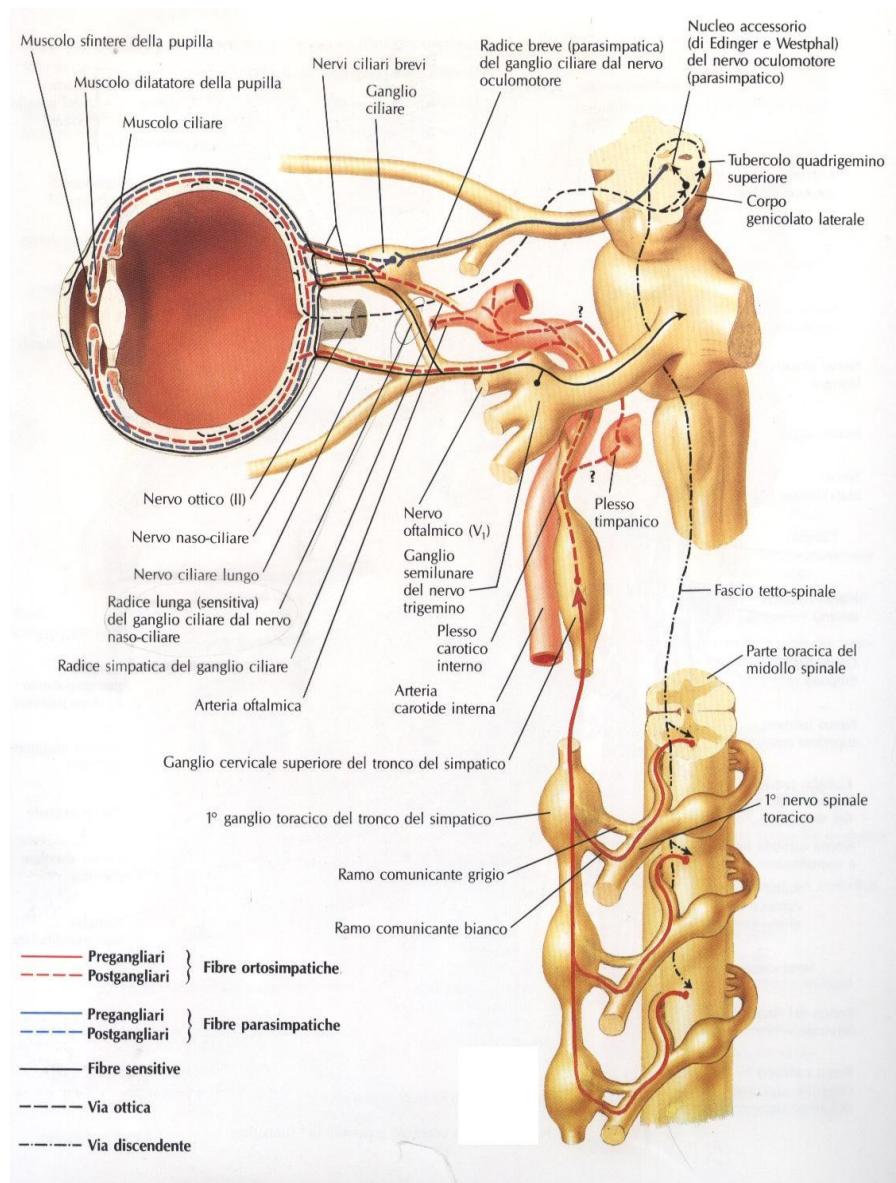
Il *muscolo costrittore della pupilla* riceve afferenze parasimpatiche che provengono dal nucleo di Edinger-Westphal nel mesencefalo, costituito dai corpi cellulari dei neuroni pregangliari parasimpatici. L'attività di questo nucleo è controllata da un centro posto nella corteccia cerebrale frontale e riceve impulsi dal lobo occipitale, grazie alla via dei riflessi psico-ottici. Le fibre parasimpatiche subito dopo l'origine si uniscono a quelle del terzo nervo cranico, l'oculomotore, il cui nucleo è posto subito al davanti di quello di Edinger-Westphal, e le seguono nel ramo destinato al muscolo piccolo

obliquo, costituendo la componente vegetativa dell'oculomotore. Tali fibre parasimpatiche formano sinapsi con neuroni post-gangliari i cui assoni costituiscono i nervi ciliari brevi, che raggiungono il muscolo costrittore della pupilla penetrando nel globo oculare.

Il *muscolo dilatatore della pupilla* riceve l'innervazione simpatica da parte dei centri ciliospinali di Budge, dati dai corpi cellulari dei neuroni pre-gangliari, situati nel midollo a livello dei primi segmenti toracici. Da qui fibre pre-gangliari attraversano il ganglio cervico-toracico senza contrarre sinapsi per poi dirigersi, attraverso l'ansa del Vieussens e la catena del simpatico, al ganglio cervicale superiore dove contraggono sinapsi con i neuroni post-gangliari. Le fibre post-gangliari in parte raggiungono il ganglio di Gasser e tramite i nervi ciliari brevi l'occhio, in parte seguendo la branca oftalmica del trigemino raggiungono il muscolo dilatatore della pupilla come nervo ciliare lungo. Il centro ciliospinale di Budge è controllato da fibre afferenti derivanti dall'ipotalamo dorsale. Tali fibre si incrociano in maniera parziale a livello mesencefalico, controllando così entrambi i centri ciliospinali di Budge. Esiste inoltre un altro centro corticale che, attraverso il nucleo ipotalamico prima

descritto, è in grado di inibire il nucleo di Edinger-Westphal.

Nell'equilibrio tra simpatico e parasimpatico per il controllo delle variazioni del diametro pupillare predomina il parasimpatico. L'azione del simpatico prevalentemente porta ad una inibizione centrale del nucleo di Edinger-Westphal (nel quale i neuroni hanno un azione tonica).



*Fig. 1. Origine e decorso delle fibre simpatiche e parasimpatiche verso i muscoli pupillari.*

## 2. FATTORI CONDIZIONANTI IL DIAMETRO PUPILLARE

L'apertura del diaframma irideo, rappresentato dalla pupilla, risulta un importante indicatore cinetico dello stato funzionale dei tessuti circostanti e dell'apparato sensoriale dell'occhio.

Il diametro pupillare in condizioni fisiologiche varia da 1,7 mm (miosi) a 8 mm (midriasi) (1). La pupilla è un apparato dinamico e tende a variare in base alla luce, ma anche in relazione all'età. Le sue dimensioni infatti cambiano: piccola alla nascita, aumenta in età adulta, per poi nuovamente diminuire con la senescenza (2). Risulta inoltre più ampia nel sesso femminile, nelle iridi chiare e nel miope rispetto all'ipermetrope.

Un certo grado di anisocoria, ovvero una differenza di diametro pupillare fra i due occhi, esiste in tutti gli individui, mentre un grado clinicamente significativo è evidente in circa un 20% della popolazione peraltro sana (3). Il rilievo di un'asimmetria va sempre analizzato, poiché può essere patognomonico di intossicazioni o di gravi lesioni cerebrali.

La pupilla va incontro a midriasi o a miosi in seguito a stimolazione riflessa. Si distinguono riflessi psico-sensitivi e riflessi sensoriali.

- I riflessi psico-sensitivi comprendono:

- Il *riflesso palpebrale* od *orbicolare di Galassi* o di *Piltz-Westphal*: tenendo le palpebre del soggetto esaminato forzatamente aperte, avremo miosi al tentativo di chiuderle.
- Il *riflesso dell'attenzione di Haab*: esso porta a miosi quando il soggetto pensa ad un oggetto brillante.
- Il *riflesso di Tournay*: in cui chiedendo al soggetto di guardare fortemente di lato, l'occhio che diverge presenta midriasi.
- Il *riflesso a stimoli sensoriali o emotivi*: conseguente a sensazioni come il dolore o stati emozionali come la paura, che producono eccitazione del simpatico ed inibizione del parasimpatico determinando una midriasi bilaterale e lieve sbarramento delle palpebre. Si tratta di un meccanismo corticale mediato sia dal simpatico cervicale, che attiva il muscolo dilatatore della pupilla, sia dal terzo nervo cranico, il quale inibisce

il tono dello sfintere pupillare (4). Hess mostrò gli effetti delle emozioni sui cambiamenti delle pupille, poiché facendo osservare immagini spiacevoli la pupilla riduceva il proprio diametro, mentre si dilatava per immagini piacevoli (5).

- I riflessi sensoriali comprendono: il *riflesso fotomotore diretto e consensuale*, il riflesso accomodativo-convergente.

- Il *riflesso fotomotore diretto e il riflesso fotomotore consensuale*: consistono nella miosi bilaterale quando si proietta uno stimolo luminoso di sufficiente intensità in uno dei due occhi. Il restringimento della pupilla direttamente interessata costituisce il riflesso diretto, mentre la miosi della controlaterale è legata al consensuale. Essi permettono di regolare il diametro in base all'intensità della stimolazione luminosa e la risposta dei due occhi è di uguale intensità.
- Il *riflesso accomodativo-convergente*: consiste in una riduzione del diametro pupillare bilaterale e viene evocato da un'immagine retinica poco distinta o dalla fissazione volontaria di un oggetto vicino agli occhi. Tale riflesso è caratterizzato da

più componenti. Si ha inoltre aumento dell'accomodazione del cristallino, convergenza degli assi visivi e costrizione delle pupille. Il riflesso accomodativo-convergente può essere evocato invitando il soggetto a seguire una mira che progressivamente si avvicina. Escludendo un occhio con la mano, si osserverà nell'altro miosi.

In questi tre riflessi il momento iniziale è legato alla stimolazione luminosa della retina. Si tratta di un apparato recettoriale molto sensibile con zone a diversa sensibilità. Quest'ultima risulta maggiore a livello della fovea, mentre verso la periferia retinica si assiste ad un decremento del numero dei coni e quindi della sensibilità. I fotorecettori retinici trasmettono il segnale attraverso le cellule bipolari alle cellule gangliari, che costituiscono la via afferente del riflesso. Lo stimolo percorre quindi il nervo ottico, il chiasma, le bandellette. Le fibre lasciano i tratti ottici prima di aver raggiunto i corpi genicolati esterni e si portano al nucleo pretettale, dove contraggono sinapsi. Da qui lo stimolo raggiunge il nucleo di Edinger-Westphal omo- e contro-laterale, permettendo, tramite l'incrocio delle fibre, il riflesso consensuale. L'oculomotore controlla sinergicamente i muscoli retti



interni, i muscoli ciliari e la pupilla, da cui deriva il riflesso accomodativo-convergente.

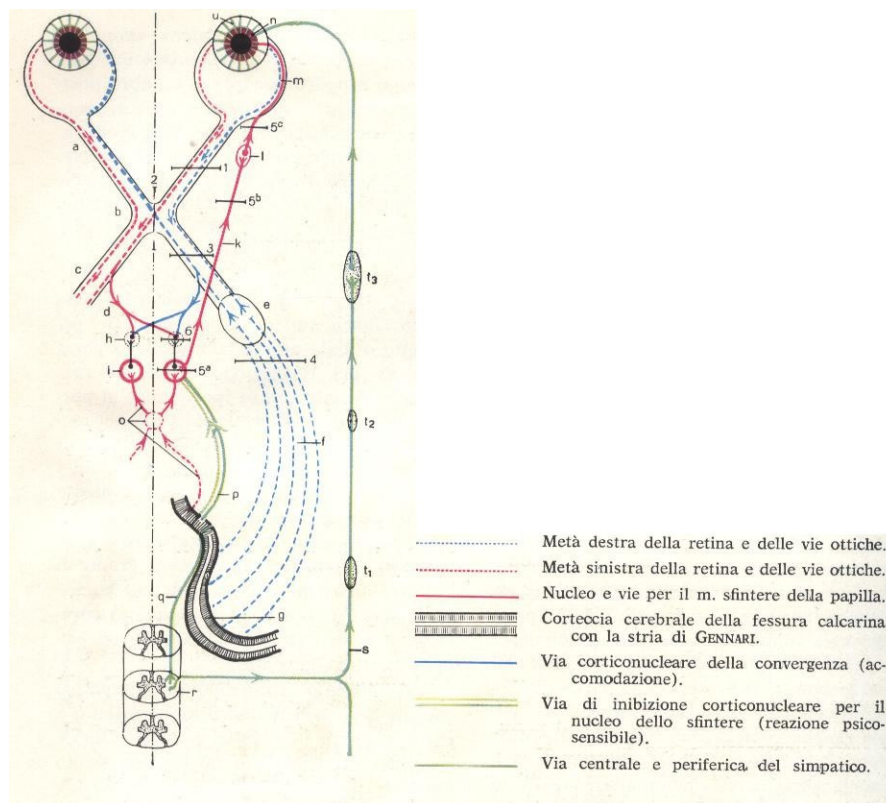


Fig. 2. Vie ottiche e dei riflessi pupillari.

L'alterazione di questi meccanismi a causa di una lesione a qualsiasi livello può portare a risposte anomale.

Evidenza di ciò può essere la *paralisi amaurotica della pupilla*, condizione in cui a causa di cecità monolare, legata ad una lesione a livello del nervo ottico o della retina, si assiste ad un'alterazione monolaterale della via

afferente dei riflessi. Risulterà infatti che nell'illuminazione dell'occhio alterato avremo la mancata miosi sia omo- che contro-laterale, mentre illuminando l'occhio normale avremo una contrazione sia dell'uno che dell'altro, poiché le vie efferenti del riflesso fotomotore diretto e consensuale sono inalterate. Nel caso in cui la cecità sia corticale avremo una conservazione del riflesso fotomotore diretto e consensuale, non essendo colpita né la via efferente né la via afferente, in quanto non coinvolgono la corteccia. L'emianopsia eteronima o omonima, causate da lesioni a livello del chiasma o delle bandellette ottiche, comporterà la mancata miosi quando lo stimolo luminoso colpisce la zona non funzionale, mentre darà luogo ad una risposta sia diretta che consensuale se la porzione interessata dalla luce farà parte della retina normale. Viene detta *reazione di Wernicke*.

Vi sono situazioni in cui si assiste ad una dissociazione fra il riflesso fotomotore e il riflesso accomodativo-convergente. Tra di esse la *pupilla di Argyll Robertson*, in cui in un occhio con funzione visiva intatta si assiste ad una mancanza di risposta alla luce, sono negativi sia riflesso diretto che consensuale, ma con presenza di risposta alla vicinanza. Si assiste quindi ad una

dissociazione luce-vicinanza. Alla base del segno di Argyll-Robertson vi è una sofferenza cerebrale dovuta solitamente a neurologie, tabe o paralisi progressiva, con presenza di lesioni anatomopatologiche a livello del nucleo di Edinger-Westphal o dei neuroni che lo collegano alla periferia.

Condizione opposta alla pupilla di Argyll Robertson è la *sindrome di Parinaud* caratterizzata da normalità del riflesso fotomotore associata ad alterazione del riflesso accomodativo-convergente. Essa è una sindrome periacqueduttale in cui si ha anche paralisi sopranucleare dello sguardo verso l'alto. Ciò si riscontra anche nelle paralisi difterica dell'accomodazione e in alcune sindromi post-encefalitiche.

La presenza di una pupilla ristretta fa parte della triade sintomatologica della *sindrome di Claude-Bernard-Horner*, caratterizzata dalla presenza di ptosi palpebrale, miosi e enoftalmo. Questa sindrome è legata a paralisi del simpatico cervicale. Può derivare da lesione del plesso brachiale per paralisi ostetrica o per paralisi radicolare dell'adulto, può essere correlata ad alterazioni delle vie simpatiche cervicali da traumi o da patologie vascolari, ma anche a lesioni del ganglio cervicale da

adenopatie primitive o secondarie ad affezioni endotoraciche. Tra quest'ultime si annoverano la tubercolosi polmonare, il carcinoma dello stomaco, della mammella, dell'esofago e dell'apice polmonare. Il tumore dell'apice polmonare, detto tumore di Pancoast, configura quella che è detta sindrome di Pancoast, la quale può costituirne il primo sintomo.

La sindrome di Claude-Bernard-Horner va posta in diagnosi differenziale con la *anisocoria semplice o fisiologica*, che colpisce circa il 10% dei soggetti normali e non è associata a malattia. Si pensa che essa derivi da una asimmetria di inibizione del nucleo di Edinger-Westphal; infatti andando ad illuminare maggiormente la pupilla si ha un riflesso che va a sopraffare l'inibizione e l'anisocoria diminuisce.

Al contrario della paralisi la sola irritazione del simpatico cervicale determina la *sindrome di Parfour de Petit* con midriasi, ampliamento della rima palpebrale e esoftalmo.

Altra alterazione è la *sindrome pupillo-tonica di Adie*. Ad eziologia ancora incerta, essa è una condizione caratterizzata da riflessi pupillari presenti ma rallentati, che compaiono addirittura dopo alcuni minuti e

richiedono tempo per scomparire. Si assiste quindi ad una differenza fra le due pupille, quella tonica e quella normale, essendo di solito condizione monolaterale. Frequente anche l'associazione con l'assenza di alcuni riflessi, come quello rotuleo ed achilleo.

Il diametro pupillare può variare anche nel corso di patologie sistemiche. Nei soggetti diabetici si riscontrano pupille più piccole e certi autori hanno trovato in essi una ridotta ampiezza del riflesso fotomotore e un aumento della sua latenza. Nei soggetti affetti da morbo di Parkinson la pupilla è bradicinetica, la dilatazione e la contrazione sono lenti (1).

Vi sono dei farmaci che agiscono sul diametro pupillare. Essi sono distinti in midriatici, determinanti dilatazione della pupilla, e miotici, che comportano costrizione. Entrambe le categorie possono agire inibendo o stimolando la contrazione dei muscoli dilatatori o costrittori.

1) I **midriatici** vengono utilizzati sia a scopo diagnostico per consentire l'esame del fundus, che a scopo terapeutico nelle flogosi del segmento anteriore per ridurre il dolore e per prevenire la formazione o facilitare la rottura delle sinechie irido-lenticolari. Sono

utili anche per ridurre la congestione oculare grazie all'effetto vasocostrittore. L'effetto midriatico si può ottenere andando a eccitare il muscolo dilatatore della pupilla con i simpaticomimetici, oppure determinando inibizione del muscolo dilatatore tramite i farmaci parasimpaticolitici.

♦ *Farmaci antagonisti del parasimpatico*: sono gli anticolinergici fra cui annoveriamo l'atropina, l'omatropina, la scopolamina, il ciclopentolato e la tropicamide.

L'atropina, scoperta nel 1831 e sintetizzata nel 1901, è un alcaloide della belladonna. Porta a midriasi già dopo 15 secondi dall'instillazione, raggiungendo dopo circa 40 minuti la massima dilatazione. Questo effetto deriva dal blocco del recettore dell'acetilcolina a livello delle terminazioni del nervo oculomotore. L'atropina comporta inoltre paralisi del muscolo ciliare, determinando cicloplegia. Tale effetto è utile per un corretto esame della refrazione nel bambino, in cui l'accomodazione è spiccata. L'uso di atropina è controindicato in pazienti con camera anteriore ristretta o con storia di glaucoma ad angolo chiuso, mentre l'uso prolungato può provocare fenomeni

locali irritativi come congestione, edema, eczema e congiuntivite follicolare. Gli effetti collaterali sistemici, conseguenti all'impiego oftalmologico delle sostanze atropino-simili, includono la diminuzione della secrezione salivare, la secchezza della mucosa buccale, aumento della frequenza cardiaca e agitazione psicomotoria. Altri effetti indesiderati sono la perdita transitoria del potere di accomodazione legata alla cicloplegia e la fotofobia determinata dalla midriasi.

La scopolamina risulta più potente e più tossica, ma con durata d'azione minore.

La tropicamide induce rapidamente midriasi e scarsa cicloplegia, riducendo così i disturbi visivi del paziente.

- ◆ *Farmaci simpaticomimetici*: tra essi annoveriamo l'adrenalina, che agisce sia come  $\alpha$ - che soprattutto come  $\beta$ -agonista, e la fenilefrina che è un agonista sintetico dei recettori  $\alpha$ . Essi vengono utilizzati nella terapia del glaucoma cronico semplice o ad angolo aperto grazie al loro effetto vasocostrittore che riduce la produzione di umor acqueo.

2) **I Miotici** si distinguono in simpaticolitici, inibenti la stimolazione simpatica sul muscolo dilatatore della pupilla, ed in parasimpaticomimetici, stimolanti la costrizione del muscolo costrittore della pupilla.

♦ *I farmaci stimolatori* del muscolo costrittore si distinguono in miotici diretti e in miotici indiretti. I primi agiscono sul recettore muscarinico dell'acetilcolina, mentre i miotici indiretti agiscono andando a bloccare l'azione dell'enzima acetilcolinesterasi, che va a scindere l'acetilcolina in gruppo acetile e colina, determinandone così accumulo. Questi farmaci vengono utilizzati per la terapia del glaucoma ad angolo aperto e l'induzione della miosi non è altro che un effetto indesiderato.

– Miotici diretti: fra di essi c'è la pilocarpina, un agonista muscarinico molto potente. Si tratta di un alcaloide di origine naturale estratto dalle foglie di *pilocarpus jaburandi*, isolato nel 1875 da Hardy. Agisce sia sul muscolo costrittore della pupilla dando miosi che a livello del muscolo ciliare determinandone spasmo. Gli effetti collaterali sono congiuntivite, irritazione oculare, formazione di sinechie posteriori, disturbi della vista.



- Miotici indiretti: si distinguono in farmaci inibitori reversibili dell'acetilcolinesterasi, con periodo d'azione relativamente breve, e in inibitori irreversibili che si legano in modo irreversibile all'acetilcolinesterasi, la cui azione dura diverse settimane, sino al turn-over dell'enzima.

Tra i farmaci ad azione reversibile c'è la fisostigmina, che determina miosi in 30 minuti e il cui effetto si protrae per oltre 12 ore. Essa determina, in seguito all'instillazione, effetti collaterali frequenti quali: allergie a livello congiuntivale, cheratite puntata, cisti in corrispondenza del bordo pupillare dell'iride, iperemia congiuntivale e bruciore, mentre a livello sistemico possono comparire nausea, crampi addominali, vomito, aumento della salivazione, della sudorazione e irregolarità del ritmo cardiaco.

Tra i farmaci ad azione irreversibile abbiamo l'ecotiopato, il demecario, farmaci oggi non più utilizzati né commercializzati in Italia, anch'essi utilizzati un tempo nel glaucoma ma di difficile controllo.

- ◆ *I farmaci simpaticolitici* hanno come effetto l'inibizione del muscolo dilatatore della pupilla, tramite la riduzione dell'eccitazione post-sinaptica da parte della noradrenalina. Ciò può essere ottenuto in due modi: mediante blocco diretto a livello del recettore della noradrenalina, tramite il legame con esso, oppure con il legame ai recettori  $\alpha$ -2 che agiscono a livello pre-sinaptico riducendo il rilascio di noradrenalina nel vallo sinaptico.
- Farmaci  $\alpha$ -2-agonisti: classe di molecole il cui prototipo è la clonidina, che hanno affinità selettiva per il recettore  $\alpha$ -2 adrenergico. La clonidina è stato il primo  $\alpha$ -2 agonista introdotto nella terapia del glaucoma. Essa ha un buon effetto ipotonizzante, ma provoca ipotensione sistemica in un'elevata percentuale di casi. La brimonidina tartrato è utilizzato in monoterapia nella riduzione della pressione intraoculare sia in pazienti con glaucoma ad angolo aperto che nei soggetti con ipertensione oculare intolleranti o con controindicazioni all'impiego di beta-bloccanti, insieme a cui può comunque essere somministrato in associazione.

- Farmaci  $\alpha$ -bloccanti: la timoxamina e soprattutto il dapiprazolo somministrati per via topica raggiungono la camera anteriore e inibiscono l'azione del muscolo dilatatore dell'iride, cui consegue una miosi per prevalenza dello sfintere pupillare. Vengono utilizzati nelle forme di glaucoma in cui si richiede oltre all'effetto ipotensivo anche la miosi.

Oltre ai farmaci anche alcune droghe agiscono a livello pupillare.

La cocaina dà luogo a midriasi nello stato di intossicazione. In condizioni di astinenza comparirà invece miosi, con pupilla dal tipico aspetto a “capocchia di spillo”.

L'eroina ha fra gli effetti evocati la miosi, mentre durante le crisi di astinenza si avrà midriasi.

### 3. TECNICHE DI DETERMINAZIONE DEL DIAMETRO PUPILLARE

Negli ultimi anni numerosi strumenti sono stati ideati al fine di misurare il diametro pupillare. I problemi principali nella misurazione del diametro risiedono nelle continue modificazioni che si sviluppano in risposta a svariati stimoli da parte della pupilla. Infatti la pupilla si modifica non solo in base alla luce, ma anche in base all'età, allo stato emozionale e all'assunzione di farmaci. Oltre alla sua intrinseca motilità, la pupilla è asimmetrica ed entrambi queste caratteristiche tendono ad aumentare con livelli di bassa illuminazione (6,7). Inoltre non è sempre facile distinguere il reale margine della pupilla a causa del basso contrasto che spesso si presenta nei confronti del margine irideo. Le reali dimensioni della pupilla sono di difficile valutazione poiché essa appare ingrandita a causa del mezzo diottrico che le si antepone, composto da umor acqueo, cornea e mezzo ambientale (aria);

Numerosi metodi pupillometrici sono stati studiati, tra questi il pupillometro di Morton, che si basa sul confronto diretto effettuato anteponendo una stecca con fori di diametro crescente, con cui si rileva il diametro

individuando il foro sovrapponibile. Anche il pupillometro di Rosenbaum si basa sul confronto diretto attraverso la valutazione del diametro orizzontale.

Queste metodiche presentano come limite quello di non poter effettuare valutazioni in condizioni di bassa illuminazione. Studi recenti hanno dimostrato come in realtà, in condizioni di illuminazione scotopica e mesopica, la stima del diametro pupillare effettuata con il pupillometro di Rosenbaum non si discosti molto da quella ottenuta con strumenti più complessi, come il pupillometro di Colvard (8). Si può misurare il diametro pupillare anche attraverso la lampada a fessura utilizzando la luce blu cobalto a bassa intensità. Il braccio dello strumento è posto al centro in modo che la fessura sia a fuoco al centro della pupilla, rendendo così possibile la determinazione della distanza fra l'angolo superiore ed inferiore. Tale metodica non sembra presentare una differenza statisticamente rilevante rispetto a pupillometri più complessi, poiché la bassa illuminazione della luce utilizzata non produce grandi variazioni dell'originale diametro pupillare (9). I metodi precedentemente descritti presentano però un'alta suscettibilità all'errore dovuta ai movimenti pupillari.

Al fine di ottenere dati più precisi si è assistito negli ultimi cinquant'anni allo sviluppo ad alla messa a punto dei pupillometri elettronici.

I pupillometri a raggi infrarossi permettono la valutazione del diametro pupillare in condizione di bassa illuminazione (10). La pupilla non risente della stimolazione infrarossa in quanto tale lunghezza d'onda non è percepibile dall'occhio umano.

Il pupillometro binoculare *Procyon* (Procyon Instruments Ltd., Grosmont, England) sfrutta i raggi infrarossi, permettendo la valutazione del diametro pupillare bilateralmente. La misurazione del diametro pupillare può essere eseguita a diverse intensità luminose: scotopica ( $\text{lux} < 0,07$ ), bassa mesopica ( $0,88 \text{ lux}$ ) ed alta mesopica ( $6,61 \text{ lux}$ ) o fotopica ( $< 50 \text{ lux}$ ). La luce infrarossa, ad elevata lunghezza d'onda, viene emessa dallo strumento tramite due diodi, illuminando così l'occhio; l'illuminazione viene quindi rilevata dal sistema e riprodotta come immagine. In ogni livello di illuminazione si acquisiscono dieci immagini con una frequenza di cinque immagini al secondo. Durante la misurazione l'occhio è isolato dall'ambiente mediante sagome di gomma, così da non avere un'alterazione della

misurazione legata all'ingresso di luce esterna. Le immagini derivate dall'acquisizione dello strumento possono essere osservate dall'esaminatore su un computer, che fornisce inoltre la media e la deviazione standard del diametro pupillare, calcolate sulle dieci immagini in visione scotopica, alta e bassa mesopica. All'operatore vengono inoltre fornite indicazioni circa la qualità dei dati acquisiti: bontà dell'acquisizione, controllo della messa a fuoco, esclusione dell'ammicciamento. La risoluzione spaziale è di 0,03 mm per pixel.

Negli studi effettuati con il pupillometro *Procyon* i livelli di illuminazione utilizzati sono quelli suggeriti dalla United Kindom Service (11,12).

Il confronto del pupillometro *Procyon* con altri metodi meno sofisticati, come quello di Rosenbaum, ha dimostrato la maggiore attendibilità del primo (13).

L'esame pupillometrico può essere effettuato anche con l'impiego del topografo corneale. Il maggior inconveniente è che la luce richiesta per effettuare l'esame determina una stima che non corrisponde al reale diametro pupillare in condizioni di bassa luminanza. Infatti, nonostante che la differenza nelle valutazioni

effettuate con diversi topografi sia statisticamente irrilevante, è stato dimostrato da Boxer-Wachler e Krueger che tutti questi strumenti tendono a sottostimare il diametro pupillare, soprattutto per le pupille di grandi dimensioni. Questo è legato al fatto che i topografi catturano immagini statiche della pupilla, da cui traggono la stima (14). Questa osservazione è vera soprattutto per la visione scotopica (15), mentre si ottengono migliori risultati nella visione mesopica (16).

Altro tipo di pupillometro è quello ad amplificazione di luce o pupillometro di Colvard. Esso ha il vantaggio di permettere la valutazione anche ad intensità di luce molto basse. Tale strumento ha la capacità di rilevare bassi livelli di energia luminosa, che vi entrano stimolando un foto-catodo, determinando così eccitazione di elettroni. Questi vanno a colpire uno schermo fosforescente che produce un'intensificazione dell'immagine. Lo strumento è portatile, può essere utilizzato in qualsiasi ambulatorio ed ha un costo contenuto. Il pupillometro è dotato di un sistema di lenti che mette a fuoco il segmento anteriore. Il paziente deve fissare una luce rossa a bassa luminanza e nell'oculare dell'esaminatore si visualizza un'immagine fosforescente dell'iride e della pupilla, su cui è proiettato un reticolo con una scala graduata che permette la



valutazione del diametro pupillare. Studi effettuati hanno dimostrato come i dati ottenuti con questo pupillometro siano superiori a quelli dei metodi tradizionali, come il pupillometro da Rosenbaum, poiché la stima viene effettuata a intensità di luce minori (17). Rispetto ai pupillometri a raggi infrarossi ha dato risultati peggiori. Il Procion ha dimostrato una minore variazione nel diametro pupillare in visione scotopica, probabilmente perché acquisisce più immagini da cui estrapola la media finale (18); inoltre ha una migliore risoluzione spaziale e le condizioni di illuminazione a cui viene fatta la stima sono determinabili in maniera migliore (11,19).

Il confronto fra il pupillometro Colvard e la misurazione con filtro verde alla lampada a fessura ha dimostrato una somiglianza nella misura del diametro in visione scotopica (20,21). La stima del diametro pupillare può essere ottenuta anche facendo fotografie digitali mediante una fotocamera con flash automatico capace di catturare le immagini della pupilla in 8 millisecondi: l'acquisizione avviene quindi prima che si abbia la risposta reattiva al flash. Le immagini acquisite possono essere successivamente trasferite ad un computer per essere analizzate. Questo è un metodo accurato e poco costoso, adatto alla ricerca clinica in quanto permette di ottenere

materiale duraturo (la fotografia), riducendo in questo modo anche l'errore di misurazione (22).



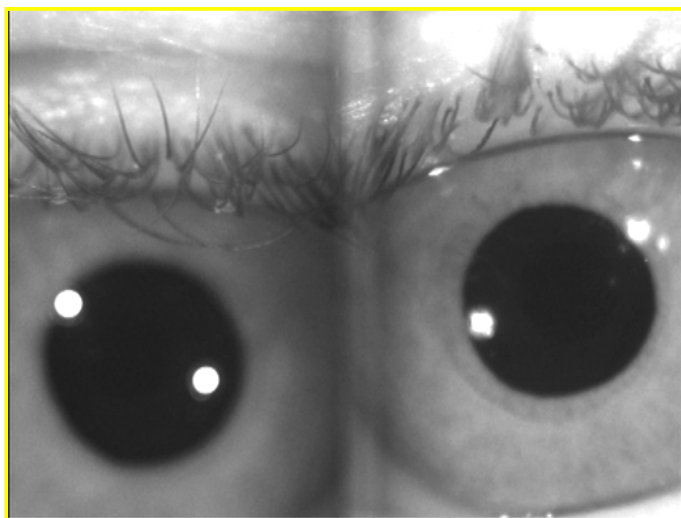
*Fig. 3. Pupillometro Colvard.*



*Fig. 4. Pupillometro Procion (vista frontale).*



*Fig. 5. Pupillometro Procion (vista laterale).*



*Fig. 6. Immagini ottenute con pupillometro Procion.*



*Fig. 7. Pupillometro/topografo CSO.*

#### 4. L'INTERVENTO DI CATARATTA

Il termine cataratta va ad identificare un disturbo del cristallino caratterizzato da progressiva opacizzazione. Il cristallino è una lente biconvessa trasparente posta fra il

diaframma irideo e la fossetta patellare del vitreo. Si tratta di una struttura assolutamente peculiare costituita da un solo tipo di cellule, di origine epiteliale, circondate completamente da una struttura denominata capsula (23). La capsula è una membrana basale trasparente ed elastica, elaborata anteriormente dalle cellule epiteliali e posteriormente dalle fibre superficiali. L'epitelio è costituito da un monostrato di cellule che occupano la superficie anteriore del cristallino adulto. Si ritiene che le cellule situate al polo anteriore non siano in grado di andare incontro a mitosi ma che rimangano nell'area centrale, ovvero diano luogo ad un raggruppamento di cellule invecchiate. Viceversa le cellule situate in posizione pre-equatoriale, detta zona germinativa, si dividono attivamente. In seguito ad ogni divisione mitotica le cellule figlie entrano nella adiacente zona di transizione. Qui hanno inizio i processi di differenziazione delle cellule in fibre con le cellule che tendono ad allungarsi.

Il cristallino adulto viene suddiviso in due zone:

- Nucleo: dato dalle fibre prodotte prima della maturazione sessuale.

- Corticale: composta dalle fibre prodotte successivamente alla maturazione sessuale.

La sintomatologia del paziente con cataratta è legata all'entità e alla localizzazione dell'opacizzazione della lente. Il primo segno di una perdita di trasparenza del cristallino può essere rappresentato dalla riduzione di acuità visiva. Tale riduzione varia in base alla densità e opacità della cataratta. Può essere una riduzione lieve che il paziente non percepisce, ma può anche arrivare a dare una acuità visiva ridotta alla percezione luce.

Altro difetto lamentato dai pazienti con cataratta è la ridotta capacità di vedere oggetti alla luce del sole e di essere facilmente abbagliati dai fari alla guida. Tali difetti derivano da una ridotta sensibilità al contrasto e dall'abbagliamento. L'abbagliamento è causato dalla diffrazione della luce legata alla disomogeneità della lente, con un conseguente peggioramento della visione diurna e durante la guida notturna.

I cambiamenti nella composizione del cristallino determinano una variazione dell'indice refrattivo della lente in senso miopico che può essere anche di alcune diottrie.

Può inoltre verificarsi diplopia monoculare soprattutto per cataratta corticale a raggiera o vacuoli che contengono liquidi con indice refrattivo minore.

Lo strumento principale per la diagnosi dell'opacità della lente per l'oftalmologo rimane la lampada a fessura.

La cataratta viene classicamente distinta in forma congenita e acquisita.

Fra le forme acquisite quella di gran lunga più frequente è la cataratta senile, ma vi sono anche forme derivanti da traumi, da farmaci e da esposizione ad agenti fisici.

La cataratta senile viene distinta, in base all'aspetto morfologico alla biomicroscopia, in cataratta nucleare, cataratta corticale, cataratta sottocapsulare posteriore e in forme miste in cui coesistono due o più delle precedenti.

Le cataratte congenite sono delle opacità presenti alla nascita o che si formano nei primi mesi di vita: tali opacità possono essere stabili oppure evolutive. In quest'ultimo caso danno luogo alle cataratte giovanili o presenili. Possono inoltre essere mono o bilaterali e coinvolgere in tutto o in parte il cristallino.

L'intervento di cataratta ha la finalità di rendere migliore l'acuità visiva del soggetto, andando a rimuovere il

cristallino non più limpido. Si differenziano più tipi di intervento chirurgico di cataratta: intracapsulare, molto usato sino agli anni ottanta, extracapsulare e facoemulsificazione.

L'intervento intracapsulare risulta più traumatico per l'occhio del paziente: viene detto crioestrazione, poiché va ad afferrare il cristallino, capsula compresa, andando a creare una sfera di ghiaccio tramite cui si riesce a afferrare la lente e rimuoverla.

L'intervento extracapsulare comporta l'estrazione del cristallino dopo aver praticato un'apertura nella capsula anteriore, capsulotomia o capsuloressi, così da lasciare in sede il sacco capsulare.

L'intervento di facoemulsificazione invece va a frammentare il nucleo direttamente in camera anteriore o in camera posteriore. Ciò che permette questa tecnica è il facoemulsificatore. La frammentazione del nucleo avviene grazie al manipolo ad ultrasuoni. Questo tramite un trasduttore trasforma energia elettrica in energia meccanica, dando luogo a onde di compressione e decompressione, che colpendo il nucleo lo frantumano. Inoltre a tale livello sono presenti una linea di aspirazione e una di irrigazione. La linea di aspirazione è



collegata ad una pompa d'aspirazione, con la funzione di asportare i frammenti di cristallino precedentemente frantumato. La linea di irrigazione ha la funzione di irrigare la camera anteriore mantenendone il volume.

La preparazione preoperatoria del paziente all'intervento di cataratta comprende, oltre ad un accurato esame oculare, gli esami sierologici ed ematochimici di routine, nei giorni che precedono l'intervento. La profilassi antibiotica preoperatoria è importante per ridurre al minimo la flora batterica saprofita, in quanto la maggior parte dei casi di endoftalmite sono causati da batteri gram-positivi normalmente presenti a livello delle palpebre. Oltre il 90% dei casi di endoftalmite con coltura batteriologica positiva è causato dallo *Staphylococcus Epidermidis* e *Aureus* (24). Per ridurre il rischio di endoftalmite, oltre ad una profilassi antibiotica preoperatoria, è prassi generalizzata la profilassi postoperatoria nei 7-15 giorni dopo l'intervento. La scelta dell'antibiotico si fonda su alcune caratteristiche, quali un ampio spettro d'azione, un elevato potere battericida e buone capacità di filtrazione nell'umor acqueo. Da questo punto di vista i fluorochinoloni si sono rivelati superiori rispetto alle altre classi di antibiotici (25).

La tecnica di anestesia a cui si fa più ricorso per l'intervento di cataratta è la locale. Si possono utilizzare metodiche di blocco orbitario, come la retrobulbare o la peribulbare, in cui si inietta anestetico locale nella cavità orbitaria. Può essere utilizzata anche una semplice anestesia topica, con l'instillazione di anestetico in gocce sulla superficie oculare, in cui l'analgesia corneale è ottima, mentre la motilità oculare non viene modificata.

L'intervento di facoemulsificazione inizia con l'incisione per l'inserzione del facoemulsificatore, che viene detta tunnel. Il tunnel è costituito da un'incisione su tre piani, in quanto ogni incisione non perpendicolare alla parete oculare produce un'apertura valvolare. Uno dei maggiori vantaggi offerti dal tunnel è rappresentato dall'autochiusura, cioè dalla tendenza dei suoi piani ad aderire al ristabilimento della pressione intraoculare (26). Nonostante l'architettura del tunnel sia sostanzialmente unica, se ne possono individuare due varianti principali, l'incisione con tunnel sclero-corneale e con tunnel corneale, in base alla sede anatomica di esecuzione. Le principali differenze tra i due tunnel, oltre alla sede, consistono nella lunghezza e nell'influenza post-operatoria sulla conformazione e sull'astigmatismo corneale (27). I tunnel sclero-corneali appaiono

refrattivamente meno influenti dei corneali, poiché minore è la distanza dell'incisione dal centro della cornea maggiore è l'influenza sulla sua conformazione.

Oltre al tunnel va eseguita un'incisione di servizio. L'incisione serve per introdurre il secondo strumento di manovra.

Una volta praticata l'incisione va aperta la capsula anteriore, attraverso la capsulotomia “can opener” (apertura a lattina di birra) o con la capsuloressi.

La fase che segue la capsuloressi è l'idrodissezione con cui si separa il nucleo del cristallino dalla capsula.

L'intervento quindi prosegue con la facoemulsificazione del nucleo che può essere svolta in camera anteriore o posteriore.

La facoemulsificazione in camera posteriore può essere effettuata con più tecniche fra cui si distinguono quelle con nucleofrattura, in cui si associa la frattura nucleare manuale con lo strumento ausiliario, e le tecniche senza nucleofrattura.

La nucleofrattura viene eseguita con una manovra a tenaglia fra un uncino modificato (chopper), introdotto dall'apertura di servizio, e la punta del faco. Le tecniche

con cui si può frammentare il nucleo sono numerose, tra di esse ricordiamo la Devides and Conqure, la nucleofrattura a croce e la stop and chop (28).

La fase finale dell'intervento di cataratta è l'impianto del cristallino artificiale (IOL). Si tratta di una lente pieghevole, in silicone o acido acrilico. La possibilità di utilizzare lenti pieghevoli permette di ridurre notevolmente le dimensioni dell'incisione.

Le complicanze dell'intervento di cataratta sono sia intraoperatorie che postoperatorie. Durante l'intervento di cataratta si può verificare la fuga della resina, la rottura della capsula posteriore con fuoriuscita di vitreo, la lussazione del sacco capsulare e dislocazione della lente.

Nel periodo post-intervento complicanze possono essere: l'endoftalmite, la fuoriuscita di umor acqueo con iride adesa alla cornea, l'ipoema, l'edema corneale, il glaucoma post-operatorio. Anche la retina può essere interessata con l'edema maculare cistoide e il distacco di retina. Infine si può assistere ad una opacizzazione della IOL, detta anche cataratta secondaria.

L'intervento di cataratta può determinare delle variazioni nella conformazione e funzionalità della pupilla. Complicanza dell'intervento di cataratta è il prolasso

dell'iride, condizione in cui si verifica un impegno di parte dell'iride all'interno della ferita chirurgica. La trazione che ne deriva determina deformazione della pupilla. In taluni casi non è visibile l'iride impegnata nella ferita, ma il solo segno visibile è dato dallo stiramento della pupilla.

La deformazione pupillare durante l'intervento può derivare da traumi legati al contatto fra il facoemulsificatore e l'iride; quest'ultima porterà i segni del contatto, che nel migliore dei casi saranno rappresentati da una zona più o meno ampia di atrofia, mentre nei casi peggiori si può verificare una dialisi dell'iride. In entrambi i casi la pupilla va incontro ad una perdita della sua naturale conformazione. L'alterazione della forma pupillare può derivare anche da una dislocazione della IOL. La lente non correttamente inserita può applicare una forza sul margine pupillare o sull'iride stessa (29).

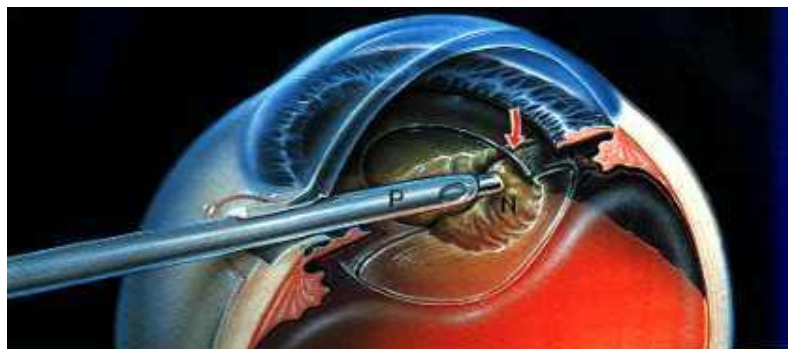
Alcuni autori hanno dimostrato che il diametro e la risposta ai midriatici della pupilla sono spesso ridotti dopo l'intervento di cataratta. La ridotta risposta ai midriatici si riscontra sia nella riduzione del diametro finale che nella riduzione della motilità iridea nel

raggiungimento della midriasi (29,30). La causa di tale fenomeno è da ricercarsi probabilmente nel danneggiamento traumatico, durante l'intervento, di alcune fibre del muscolo dilatatore della pupilla. In particolare, dopo un estrazione intra- o extra-capsulare di cataratta, si può riscontrare la presenza di una pupilla atonica, fissa in dilatazione (31). La possibilità di determinare danno alle fibre muscolari a livello irideo può essere maggiore se durante l'intervento di cataratta c'è una scarsa midriasi dovuta ad una cattiva dilatazione preoperatoria, oppure una miosi indotta dalla chirurgia. In quest'ultimo caso si è visto che i soggetti affetti da diabete mellito, presentavano più frequentemente la miosi indotta dalla chirurgia, rispetto ai soggetti non affetti (32).

Si è inoltre notato che il diametro pupillare post-operatorio non può essere predetto con sufficiente accuratezza a partire dal diametro pre-operatorio(33). Il diametro post-operatorio risulta molto importante se si utilizzano lenti asferiche, che hanno la capacità di correggere le aberrazioni sferiche del soggetto. Alcuni studi in occhi fuchici hanno evidenziato un aumento delle aberrazioni sferiche all'aumentare del diametro pupillare (34).

Alcuni autori (35) hanno inoltre descritto la presenza di un difetto pupillare afferente (RAPD) controlaterale ad un occhio affetto da cataratta unilaterale matura. E' stato tuttavia altresì dimostrato che l'intervento di facoemulsificazione è in grado di ripristinare una corretta funzionalità dell'arco riflesso (36).

In uno studio del 2004 Hayashi e coll. hanno evidenziato una riduzione del diametro pupillare nei 3 giorni seguenti all'intervento di cataratta. Questa variazione risultava non più significativa dopo circa 30 giorni. Il confronto fra pazienti diabetici e non diabetici effettuato nello studio ha evidenziato una riduzione del diametro pupillare a 3 giorni di circa 0,5 mm. Tale riduzione risultava più marcata all'aumentare dell'età nei soggetti sani, mentre nei pazienti diabetici era proporzionale alla gravità della retinopatia diabetica (37).



*Fig. 8. Aspirazione ad ultrasuoni del nucleo del cristallino.*



*Fig. 9. Capsuloressi, aspirazione del nucleo del cristallino e impianto della lente intraoculare artificiale.*



## SCOPO

L'intervento di cataratta ha la finalità di migliorare l'acuità visiva del paziente con la sostituzione del cristallino opacizzato con una lente intraoculare. E' da tempo noto inoltre che le variazioni del diametro pupillare incidono aumentando le aberrazioni sferiche che comportano sia una distorsione dell'immagine a livello retinico che un'alterazione delle misurazioni visive effettuate sul paziente. Scopo dello studio è quello di valutare le possibili variazioni che l'intervento di cataratta, ed in particolare la facoemulsificazione, può apportare al diametro pupillare e quindi alle capacità visive del paziente.

## MATERIALI E METODI

*Pazienti.* Sono stati arruolati 18 volontari sottoposti ad intervento di cataratta, ad uno solo dei due occhi, per un totale di 36 occhi. L'occhio operato è stato per 8 volontari il sinistro e per i restanti 10 il destro. L'età del campione era compresa tra 31 e 89 anni ( $68,22 \pm 14,44$ ). Il rapporto maschio-femmina è risultato pari a 5:13. Non sono stati arruolati pazienti con storia di patologie oculari, glaucoma, pregressi interventi chirurgici oculari, traumi, soggetti affetti da patologie neurologiche e soggetti che presentavano alla valutazione con lampada a fessura evidenti anormalità dell'iride o della pupilla. Ulteriore criterio di esclusione è stato l'impiego da parte dei pazienti di farmaci per via oculare o ad uso sistemico, che potessero influenzare la stima del diametro pupillare. Criteri post-operatori di esclusione sono stati l'insorgenza di complicanze operatorie, inclusi i danni all'iride, e IOL non in sede. Sono stati inseriti nello studio solo pazienti non precedentemente sottoposti ad intervento di cataratta.

*Strumento.* La valutazione del diametro pupillare è stata compiuta con un pupillometro binoculare procyon. Lo strumento è in grado di rilevare le dimensioni nelle condizioni di luce scotopica, bassa mesopica ed alta

mesopica. Una luce infrarossa emessa dai due diodi illumina con raggi ad elevata lunghezza d'onda l'occhio e viene riconosciuta da un dispositivo del sistema. Ad ogni livello di illuminazione vengono acquisite 10 immagini con una velocità di cinque al secondo. L'occhio del paziente è isolato dall'ambiente circostante grazie a delle sagome di gomma, cosicché la luce esterna non possa influenzare la valutazione. La risoluzione spaziale è di 0.037 mm per pixel. Le modalità di analisi possibili sono:

-*scotopica*: il valore di luminanza è inferiore a 0,04 lux;

-*bassa mesopica*: con luminanza di 0,88 lux;

-*alta mesopica*: il valore di luminanza è pari a 4 lux;

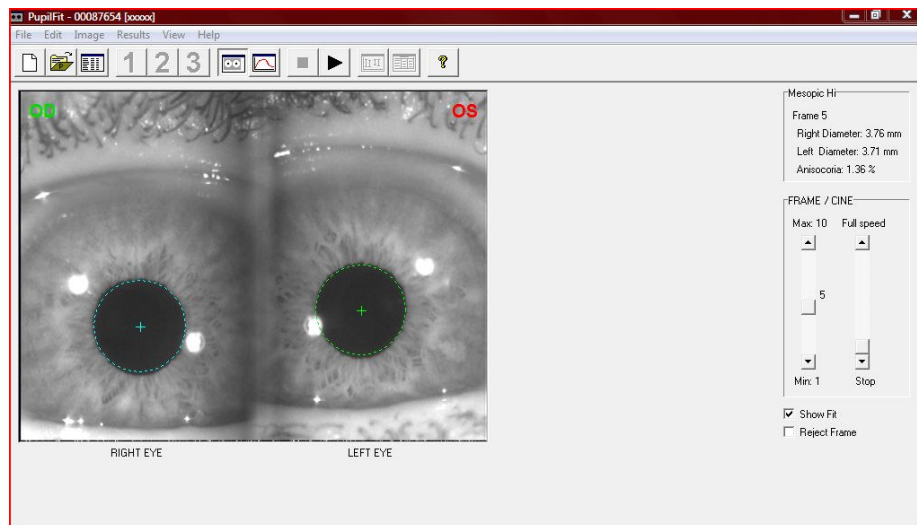
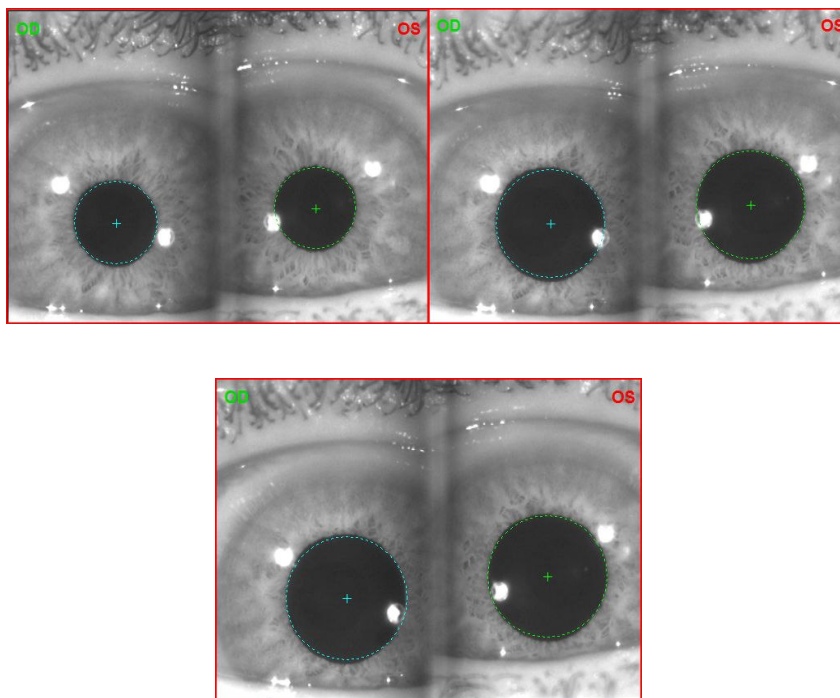


Fig. 10. Misurazione digitale del diametro pupillare, in condizione fotopica, con il pupillometro Procyon.



*Fig. 11. Immagine fotopica, basso mesopica, scotopica.*

*Misurazioni.* Ciascun paziente è stato sottoposto alla misurazione del diametro pupillare nel periodo pre-operatorio, circa una settimana prima dell'intervento chirurgico, valutando contemporaneamente entrambi gli occhi alle varie condizioni di illuminazione. La valutazione del diametro pupillare nel periodo post-operatorio è stato effettuato dopo circa 10 giorni dall'intervento di cataratta. La successione è stata: luminosità scotopica, bassa e alta mesopica. I rilievi sono stati compiuti da un unico operatore in ambiente completamente buio, in modo da evitare eventuali

interferenze esterne e mantenere invariate ogni volta le condizioni di misura.

Paziente.....

Occhio operato .....

Data.....

#### **PRE-OPERATORIO**

OS SCOTOPICO	OS MESOPICO	OS FOTOPICO	OD SCOTOPICO	OD MESOPICO	OD FOTOPICO

#### **POST-OPERATORIO**

Data.....

OS SCOTOPICO	OS MESOPICO	OS FOTOPICO	OD SCOTOPICO	OD MESOPICO	OD FOTOPICO

*Fig. 12. Modulo utilizzato nella registrazione dei dati.*

*Analisi statistica.* I risultati sono stati espressi come media  $\pm$  deviazione standard. L'analisi dei risultati è stata eseguita utilizzando un programma di analisi statistica per

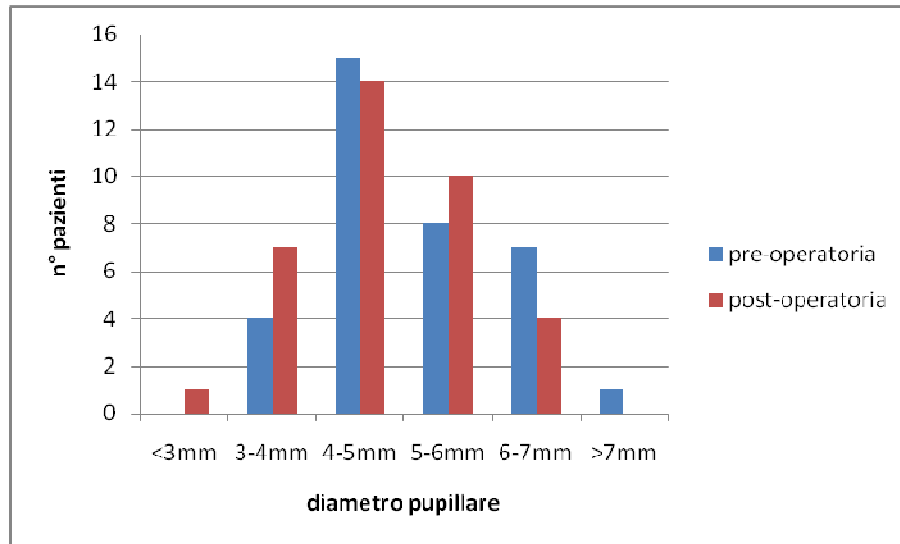
PC (Excell for Windows, Microsoft, USA). E' stato utilizzato il test  $t$  di Student confrontando i risultati pre-operatori e post-operatori alle varie condizioni di illuminazione. Le differenze sono state considerate significative per  $p < 0,05$ .

*Tecnica chirurgica.* Gli interventi sono stati effettuati da un singolo operatore con anestesia topica. Prima di iniziare gli interventi viene disinfettata la regione periorbitaria e lavato il sacco congiuntivale con soluzione di Betadine al 50%. Viene effettuata la preincisione ed il tunnel corneale con lancia monouso di 2,75-3,2 mm in sede temporale superiore ed un entrata di servizio, per l'uso di un micromanipolatore, a circa 80° da quella principale. Viene iniettato in camera anteriore della sostanza viscoelastica (VISCOAT®) che ha la funzione di mantenere gli spazi e di proteggere l'endotelio. Si effettua una capsuloressi circolare continua con pinza da capsuloressi ed idrodissezione per separare la corticale dalla capsula. Quindi la facoemulsificazione del nucleo con tecnica di nucleofrattura a croce. La tecnica si compone di più fasi, in fase 1 vengono rimossi la corticale e l'epinucleo anteriori. Nella seconda fase si esegue la scolpitura di un emisolco, nel nucleo sino all'epinucleo posteriore. Si

ripete la medesima manovra dopo rotazione di 90° fino all'ottenimento dei quattro bracci di una croce di profondità omogenea. Passando alla fase 3 viene eseguita la nucleofrattura con tecnica bimanuale posizionando la punta del faco e il micromanipolatore nel letto di ogni solco. Divaricando i due strumenti si ottiene la divisione del nucleo in 4 quadranti, i quali vengono facoemulsificati in fase 4. Viene riempito il sacco capsulare con viscoelastico, così per poter iniettare la lente pieghevole. Una volta impiantata la lente il viscoelastico viene aspirato. Infine si sutura il tunnel corneale con un punto singolo in nylon 10.0, si effettua un lavaggio del sacco congiuntivale con Betadine al 50% e medicazione con pomata antibiotica.

## **RISULTATI**

La distribuzione dei pazienti analizzati nel nostro studio in condizioni di luce scotopica é rappresentata nel grafico 1. Dai test effettuati nel periodo pre-operatorio il diametro di 23 pupille si trova nelle classi di diametro fra i 4 mm e 6 mm, solo 4 sono sotto i 4 mm e 8 sopra i 6 mm.



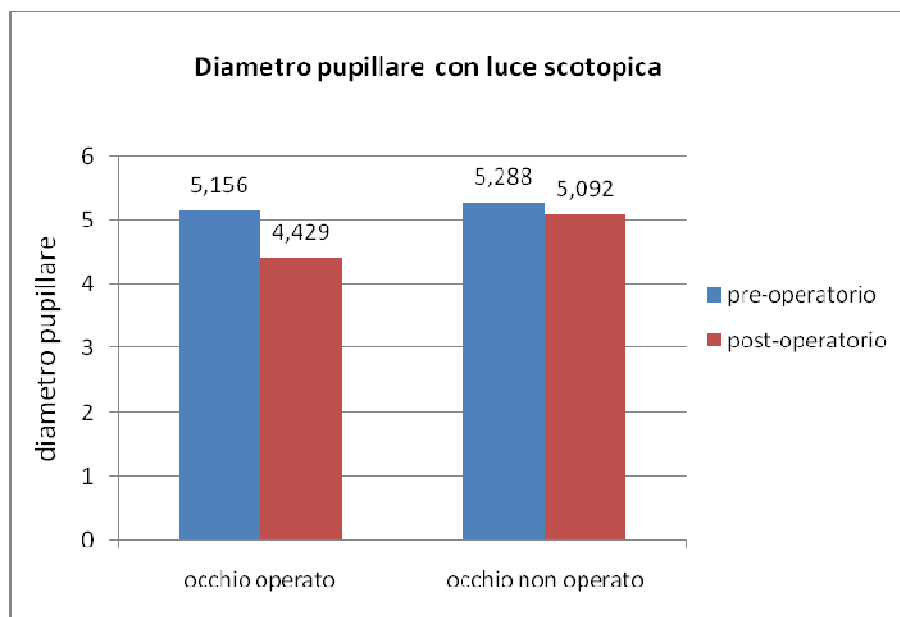
*Grafico 1. Suddivisione dei pazienti in classi di diametro pupillare con luce scotopica.*

Le misurazioni sui volontari del gruppo di studio hanno evidenziato la presenza di una lieve riduzione del diametro pupillare nei test effettuati dopo l'intervento di facoemulsificazione. Tale riduzione non risulta comunque significativa dal punto di vista statistico.

Le misurazioni effettuate con luce scotopica (<0,04 lux) sono presentate nella tabella 1 e grafico 2. Il diametro pupillare medio nell'occhio operato era prima dell'intervento  $5,15 \pm 1,01$ , mentre dopo l'intervento era  $4,42 \pm 0,77$ . Nell'occhio non operato invece il diametro pupillare medio prima dell'intervento era  $5,28 \pm 1,1$ , mentre dopo era di  $5,09 \pm 0,98$ . Questi valori mostrano la presenza di una riduzione del diametro pupillare in



entrambi gli occhi a seguito dell'intervento di cataratta. Tale riduzione risulta inoltre più spiccata nell'occhio operato rispetto all'altro. L'analisi statistica non evidenzia tuttavia variazioni statisticamente significative tra la misurazione pre-operatoria e post-operatoria ( $p > 0,05$ ).

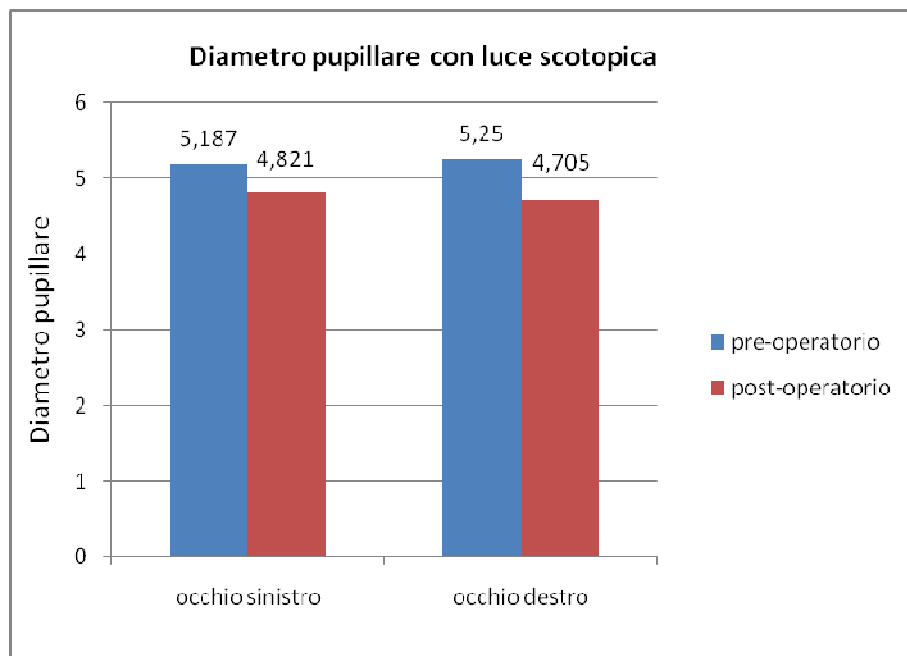


*Grafico 2. Diametro pupillare medio pre- e post- operatorio in condizione di luce scotopica.*

	Diametro preoperatorio	diametro postoperatorio
occhio sinistro	5,187 ± 1,02	4,821 ± 0,98
occhio destro	5,251 ± 1,09	4,705 ± 0,91
occhio operato	5,156 ± 1,01	4,429 ± 0,77
occhio non operato	5,288 ± 1,1	5,092 ± 0,98

*Tabella 1. Valori del diametro pupillare medio e deviazione standard pre- e post-operatori con luce scotopica.*

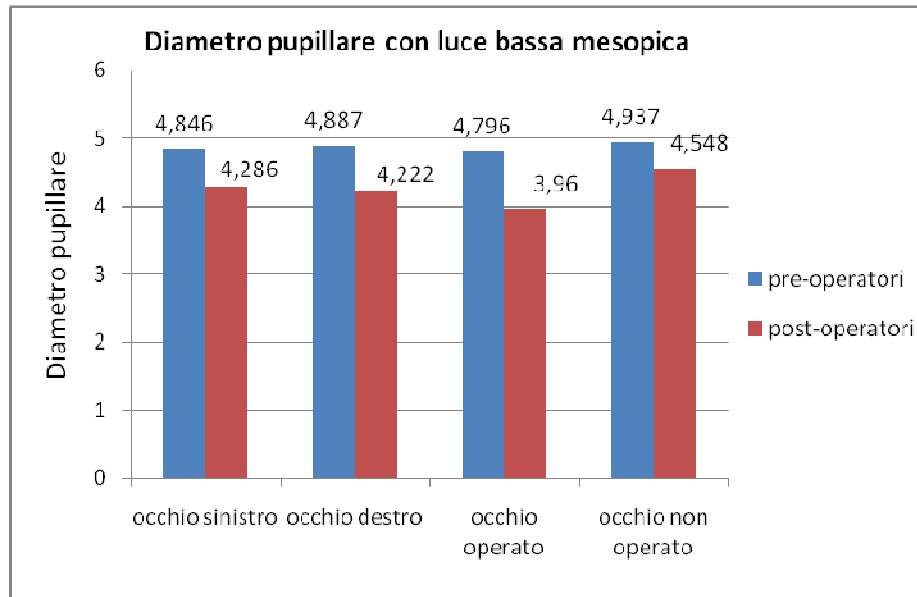
Nella valutazione del diametro pupillare medio dell'occhio sinistro il valore era prima dell'operazione di  $5,18 \pm 1,02$ , mentre dopo l'intervento era di  $4,82 \pm 0,98$ . L'occhio destro aveva invece la media pre-operatoria di  $5,25 \pm 1,09$ , che nel periodo post-operatorio era  $4,70 \pm 0,91$ . Si nota quindi una maggiore riduzione del diametro pupillare nell'occhio destro rispetto all'occhio sinistro. Ciò tuttavia può essere spiegato con il fatto che fra i volontari reclutati un maggior numero era stato sottoposto ad intervento all'occhio destro.



*Grafico 3. Diametro pupillare medio pre- e post- operatorio in condizione di luce scotopica.*

Le misurazioni effettuate con luce bassa mesopica (0,88 lux) sono inserite nel grafico 4 e tabella 2. Il diametro pupillare medio era nell'occhio operato di  $4,79 \pm 1,03$ , mentre dopo l'intervento era  $3,96 \pm 0,78$ . Le misurazioni nell'occhio non operato mostravano un diametro pupillare medio pre-operatorio di  $4,93 \pm 1,10$  ed un diametro dopo l'intervento di  $4,54 \pm 1,01$ .

Tali misurazioni indicano anch'esse una lieve riduzione del diametro pupillare successiva all'intervento. Si nota una maggior riduzione nell'occhio operato che nel non operato. Tali variazioni non risultano comunque, con la valutazione tramite test t di Student, statisticamente significative ( $p > 0,05$ )



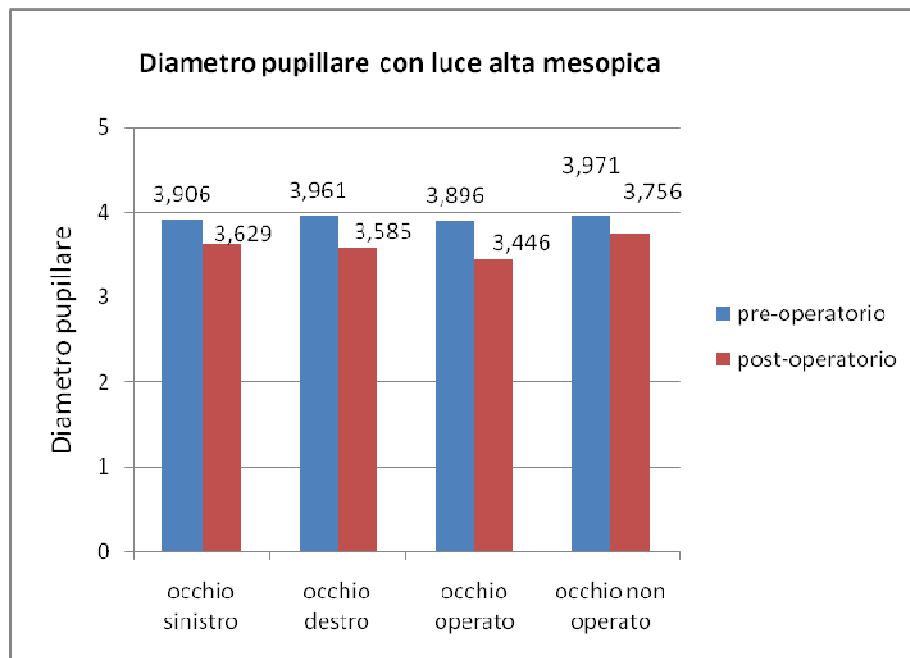
*Grafico 4. Diametro pupillare medio pre- e post-operatorio in condizione di luce bassa mesopica.*

	Diametro preoperatorio	Diametro postoperatorio
occhio sinistro	4,846 ± 1,05	4,286 ± 0,92
occhio destro	4,887 ± 1,09	4,222 ± 0,98
occhio operato	4,796 ± 1,03	3,96 ± 0,78
occhio non operato	4,937 ± 1,10	4,548 ± 1,01

*Tabella 2. Valori del diametro pupillare medio e deviazione standard pre- e post-operatori con luce bassa mesopica.*

Le misurazioni effettuate con luce alta mesopica (4 lux) sono caratterizzate da una riduzione del diametro pupillare nei test effettuati 10 giorni dopo l'operazione. Il diametro pupillare medio risultava nell'occhio operato di  $3,89 \pm 0,92$ , mentre dopo l'intervento era di  $3,44 \pm 0,78$ . I valori dell'occhio non operato erano invece prima

dell'operazione  $3,97 \pm 0,91$  e dopo l'intervento erano pari a  $3,75 \pm 0,96$ . Anche in questo caso l'analisi statistica, tramite la valutazione con test t di Student, risulta non significativa ( $p>0,05$ ).

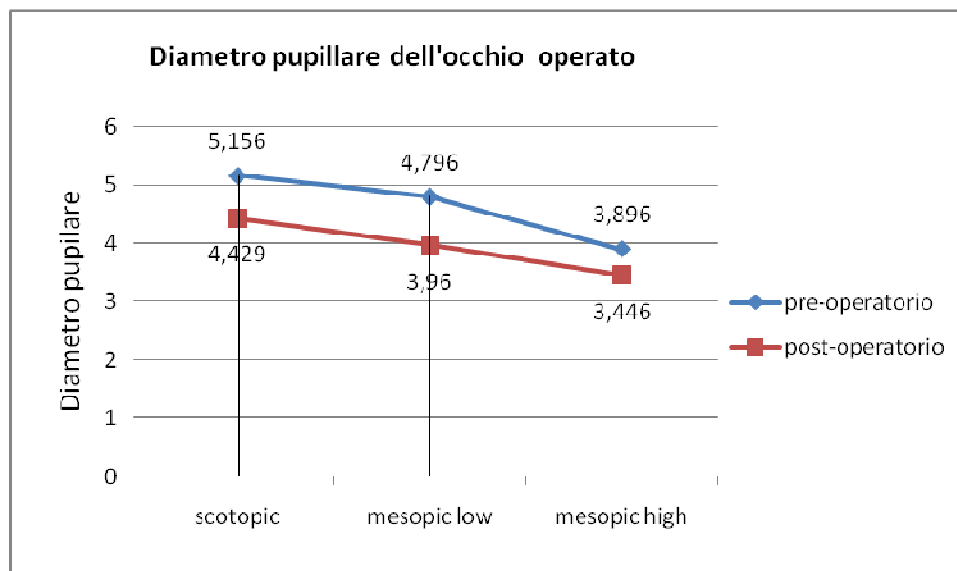


*Grafico 5. Diametro pupillare medio pre- e post- operatorio in condizione di luce alta mesopica.*

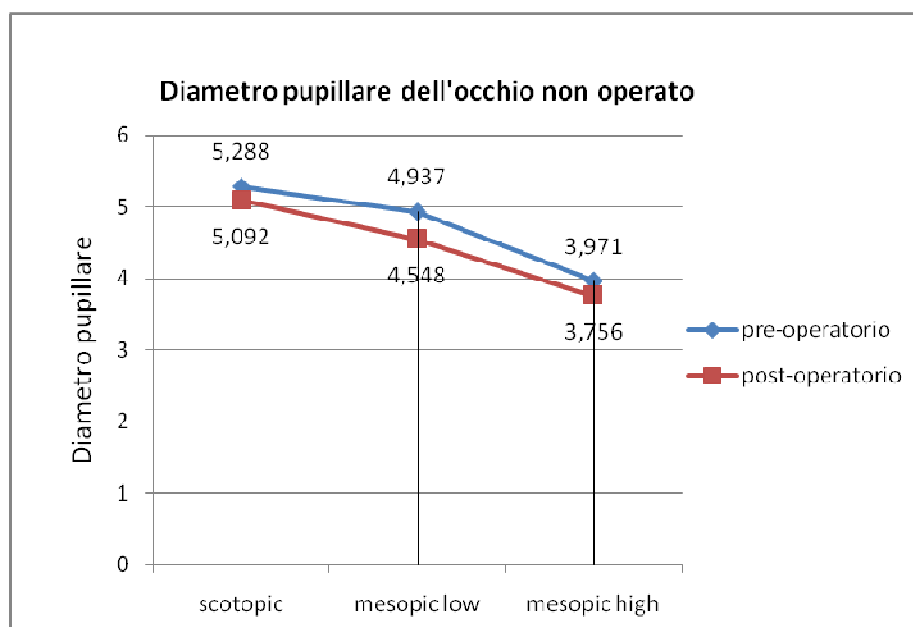
	diametro preoperatorio	diametro postoperatorio
occhio sinistro	3,906 ± 0,94	3,629 ± 0,8
occhio destro	3,961 ± 0,89	3,585 ± 0,97
occhio operato	3,896 ± 0,92	3,446 ± 0,78
occhio non operato	3,971 ± 0,91	3,756 ± 0,96

*Tabella 3. Valori del diametro pupillare medio e deviazione standard pre- e post-operatori con luce alta mesopica.*

Nella valutazione degli occhi operati si evidenzia in media, nelle diverse condizioni di luce (scotopica, bassa e alta mesopica), una riduzione del diametro pupillare dopo l'intervento, che dall'analisi statistica con test t di Student risulta non significativa ( $p > 0,05$ ). Analoga situazione si evidenzia anche nell'occhio non operato ma con una riduzione minore. L'analisi statistica nelle tre condizioni di illuminazione ci indica che la riduzione del diametro nel periodo post-operatorio non presenta anche in questo caso significatività.



*Grafico 6. Diametro pupillare medio degli occhi operati nelle condizioni di luce scotopica, bassa ed alta mesopica.*



*Grafico 7. Diametro pupillare medio degli occhi non operati nelle condizioni di luce scotopica, bassa ed alta mesopica.*

Non sono state riscontrate complicanze clinicamente significative in nessuno dei 18 volontari inseriti nello studio.

### **CONCLUSIONI**

Dallo studio effettuato sui nostri volontari, condotto valutando il diametro pupillare nel periodo pre- e post-operatorio, si evidenzia una lieve variazione del diametro pupillare, non significativa dal punto di vista statistico, come conseguenza dell'intervento di cataratta. Valutando le medie dei diametri pupillari nelle condizioni di luce scotopica, bassa e alta mesopica si riscontra una tendenza alla riduzione che si manifesta sia nell'occhio operato che nel non operato.

Simile risultato è stato riscontrato da Hayashi e coll. con la valutazione del diametro pupillare prima e dopo l'intervento di cataratta in un confronto fra pazienti diabetici e non. La valutazione nello studio precedente prevedeva un primo test a 3 giorni dall'intervento, dove si evidenziava una lieve, ma non statisticamente significativa, riduzione del diametro pupillare, seguita da



una seconda valutazione a 1 mese dall'intervento in cui il diametro pupillare in entrambi i gruppi tornava a valori simili a quelli pre-operatori (37). Alcuni studi per la valutazione del diametro pupillare sono stati effettuati al fine di migliorare la funzionalità e gli studi relativi alle lenti multifocali. Fra di essi il lavoro di Koch e coll. descrive a seguito di un intervento di facoemulsificazione l'assenza di variazioni della pupilla (33).

Dalla valutazione delle alterazioni pupillari nel primo giorno dopo l'intervento di cataratta di Yap e coll. emerge una maggiore incidenza di esse nel caso di intervento extracapsulare rispetto alla facoemulsificazione (29). Questa differenza deriva probabilmente dalla minor invasività dell'intervento di facoemulsificazione utilizzato anche nel nostro studio. Uno studio del 2000 di Sherafat e coll. paragonò l'intervento extracapsulare con la facoemulsificazione, riscontrando in entrambi una ridotta risposta ai midriatici della pupilla, mentre il diametro post-operatorio nelle condizioni fotopica e scotopica risultava simile ai valori pre-operatori (38).

Il diametro pupillare dopo l'intervento di cataratta risulta importante in quanto le sue variazioni comportano alterazioni in alcune funzioni visive. E' infatti noto che

l'abbagliamento è correlato al diametro pupillare (49, 40). L'abbagliamento è un difetto visivo di tipo qualitativo caratterizzato da perdita nel contrasto dell'immagine impressa sulla retina, determinato da una deviazione della luce a livello intraoculare. L'abbagliamento è stato inoltre descritto come una riduzione dell'acuità visiva che si manifesta nell'osservazione di una qualsiasi fonte di luce posta nel campo visivo (41): ad esempio durante la guida notturna si può avere una riduzione delle funzioni visive causata dai fari di altre vetture in avvicinamento. Il fenomeno dell'abbagliamento tende infatti a peggiorare all'aumentare del diametro pupillare.

Il diametro pupillare nei pazienti operati di cataratta è correlato inoltre al grado di accomodazione apparente del paziente. Minore è infatti il diametro dopo l'intervento maggiore è la pseudo-accomodazione, che determina una migliore visione da vicino mentre si utilizza la correzione per la vista da lontano (42).

Alcuni studi hanno inoltre dimostrato che nei pazienti pseudofachici si assiste ad un'alterazione della funzione binoculare alla variazione del diametro pupillare post-operatorio. Uno dei fattori responsabili della perdita della

stereopsi in tali pazienti è rappresentato dall'aumento dell'area pupillare (43).

Il diametro pupillare post-operatorio riveste inoltre un ruolo fondamentale nell'acuità visiva, nella visione da lontano e da vicino, nei pazienti trattati con lenti intraoculari multifocali (MIOL) (44,45). Le lenti intraoculari multifocali sono state create al fine di compensare la perdita dell'accomodazione che fa seguito alla rimozione del cristallino. Le MIOL presentano zone a differente potere refrattivo. Il diametro e la posizione rispetto alle diverse zone della lente, da vicino e da lontano, assumono quindi importanza nella funzionalità delle lenti (46).

Il diametro pupillare risulta inoltre importante nella valutazione delle aberrazioni sferiche. Per aberrazione sferica si intende una discrepanza nella focalizzazione dell'immagine sulla retina fra i raggi luminosi che passano nella zona periassiale della pupilla e quelli passanti perifericamente. Ne consegue una visione distorta delle immagini. Questo difetto con la IOL in situ dopo l'intervento di cataratta aumenta all'aumentare del diametro pupillare (47).

Il diametro pupillare ha quindi un ruolo importante in quelle che sono le funzioni visive del soggetto dopo l'intervento di cataratta. L'intervento di cataratta, come già precedentemente descritto, può determinare delle alterazioni nella normale conformazione della pupilla. Tale alterazione può quindi influire sulla soddisfazione del paziente a seguito di un intervento di cataratta.

Le condizioni che possono influenzare il diametro della pupilla sono varie; tra queste il prolasso dell'iride che impegnandosi nella ferita chirurgica comporta la deformazione della pupilla. La pupilla può inoltre risultare deformata a causa di traumi iridei durante l'intervento di facoemulsificazione. Tali traumi possono determinare anche alterazioni della funzionalità dei muscoli costrittore e dilatatore della pupilla. In particolare, dopo un estrazione intra- o extra-capsulare di cataratta, si può riscontrare la presenza di una pupilla atonica, fissa in dilatazione. La pupilla può inoltre risultare alterata a causa di una dislocazione della IOL.

Durante il controllo effettuato sui volontari inseriti nello studio si è effettuata una valutazione clinica al fine di valutare l'eventuale presenza di complicanze a seguito dell'intervento. In nessuno dei pazienti da noi presi in

esame si è riscontrata l'insorgenza di complicanze. In particolar modo non si è verificata nessuna delle complicanze precedentemente descritte in grado di alterare il profilo e la funzionalità della pupilla.

In conclusione possiamo affermare che dall'analisi statistica effettuata sui pazienti presi in esame le variazioni del diametro pupillare post-intervento risultano statisticamente non significative.

La non significatività statistica della variazione del diametro pupillare che emerge nello studio permette di confermare che il diametro post-operatorio della pupilla non è in grado di modificare l'entità delle aberrazioni sferiche che potrebbero invece variare in caso di modifiche della conformazione pupillare. Le aberrazioni sferiche possono andare infatti ad influire sulle misurazioni visive effettuate sul paziente.

La mancanza di significatività nella variazione del diametro pupillare risulta inoltre importante per la soddisfazione del paziente dopo l'intervento di cataratta effettuato con la tecnica di facoemulsificazione. La variazione del diametro pupillare, come precedentemente descritto, può comportare una riduzione nelle funzioni visive del soggetto ed in particolare dell'acuità visiva.

Considerando che l'intervento di cataratta ha come scopo principale il miglioramento dell'acuità visiva, tramite la sostituzione di un cristallino opacizzato con una IOL, non essendovi nel nostro studio variazioni significative del diametro pupillare l'influenza di quest'ultimo sul risultato visivo post-operatorio è di minima rilevanza clinica.

## BIBLIOGRAFIA

1. Vignal-Clermont C, Cochard-Marianowski C. Pathologie pupillaire. In Encycl Méd Chir, Elsevier, Paris 1997; 21-510-A-10: 1-8.
2. Loewenfeld IE. Pupillary changes to age. In Thompson HS, Daroff R, Frisen L. Topics in neuro. In Ophthalmology. William & Lamp, Baltimore 1979; 124-150.
3. Glaser JS. Neuro-Oftalmologia. Aulo Gaggi Editore, Bologna 1980; 180-181.
4. Passatore M, Petterossi VE. Efferent fibers in the cervical sympathetic nerve influence by light. Exp Neurol 1976; 52: 66-82.
5. Hess EH, Polt JM. Pupil size as related to interest value of visual stimuli. Science 1960; 132: 349-350.

6. Lam BL, Thompson HS, Walls RC. Effect of light on the prevalence of simple anisocoria. *Ophthalmology* 1996; 103: 790-793.
7. Ettinger ER, Wyatt HJ, London R. Anisocoria: variation and clinical observation with different conditions of illumination and accommodation. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1991; 32: 501-509.
8. Pop M, Payette Y, Santoriello E. Comparison of the pupil card and pupillometer in measuring pupil size. *J Cataract Refract Surg* 2002; 28: 283-288.
9. Starck T, Liu Y, Prewett AL, Curup LG. Comparison of scotopic pupil measurement with slitlamp-based cobalt blue light and infrared video-based system. *J Cataract Refract Surg* 2002; 28: 1952-1956.
10. Loewenfeld IE, Rosskothan HD. Infrared pupil camera; a new method for mass screening and



clinical use. Am J Ophthalmol 1974; 78: 304-313.

11. Kohnen T, Terzi E, Bühren J, Kohnen EM. Comparison of a digital and handheld infrared pupillometer for determining scotopic pupil diameter. J Cataract Refract Surg 2003; 29: 112-117.
12. Rosen ES, Gore CL, Taylor D, Chitkara D, Howes F, Kowalewski E. Use of digital infrared pupillometer to assess patient suitability for refractive surgery. J Cataract Refract Surg 2002; 28: 1433-1438.
13. Boxer-Wachler BS, Krueger RR. Agreement and repeatability of infrared pupillometry and the comparison method. Ophthalmology 1999; 106: 319-323.
14. Boxer-Wachler BS, Krueger RR. Agreement and repeatability of pupillometry using

videokeratography and infrared devices. J Cataract Refract Surg 2000; 26: 35-40.

15. Kohnen T, Terzi E, Kasper T, Kohnen EM, Bühren J. Correlation of infrared pupillometers and CCD-camera imaging from aberrometry and videokeratography for determining scotopic pupil size. J Cataract Refract Surg 2004; 30: 2116-2123.
16. Periman LM, Ambrosio RS, Harrison DA, Wilson SE. Correlation of pupil size measured with a mesopic infrared pupillometer and a photopic topographer. J Cataract Refract Surg 2003; 19: 555-559.
17. Chaidaroon W, Juwattanasomran W. Colvard pupillometer measurement of scotopic pupil diameter in emmetropes and myopes. Jpn J Ophthalmol 2002; 46: 640-644.

18. Yang H, Lee M, Kim JB, Ahn J. Burst-shot infrared digital photography to determine scotopic pupil diameter. *J Cataract Refract Surg* 2006; 32: 2113-2117.
19. Bootsma S, Tahzib N, Eggink F, De Brabander J, Nuijts R. Comparison of two pupillometers in determining pupil size for refractive surgery. *Acta Ophthalmol Scand* 2007; 85: 324-328.
20. Schmitz S, Krummenauer F, Henn S, Dick HB. Comparison of three different technologies for pupil diameter measurement. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2003; 241: 472-477.
21. Sekundo W, Nietgen G, Schmidt JC. Measurement of scotopic pupil: comparison of scotopic pupil measurements using a Colvard pupillometer and the slit-lamp green light test. *Ophthalmologe* 2003; 100: 815-818.

22. Twa MD, Bailey MD, Hayes J, Bullimore M, Optom M. Estimation of pupil size by digital photography. *J Cataract Refract Surg* 2004; 30: 381-389.
23. Worgul BV. Lens. In Jacobiek. *Ocular anatomy, embryology and teratology*. Harper & Row, Philadelphia 1982; 335-389.
24. The Endophtalmitis Vitrectomy Study Group. Results of the endophtalmitis vitrectomy study; a randomized trial of the immediate vitrectomy and intravenous antibiotics for the treatment of postoperative bacterial endophtalmitis. *Arch Ophthalmol* 1995; 113: 1479-1489.
25. Kirsh LS, Jackson WB, Goldstein DA, Discepola MJ. Perioperative ofloxacin vs. tobramycin: efficacy in external ocular adnexal sterilization and anterior chamber penetration. *Can J Ophtalmol* 1995; 30: 11-20.

26. Fine IH. Architecture and construction of a self-sealing incision for cataract surgery. J Cataract Refract Surg 1991; 17: 672-676.
27. Masket S. Keratorefractive aspects of the sclera pocket incision and closure method for cataract surgery. J Cataract Refract Surg 1989; 15: 70-77.
28. Pezzolla A, Morescalchi F, Vannetti C. Tecniche di facoemulsificazione in camera posteriore. In Cataratta. Fisiopatologia del cristallino e chirurgia della cataratta, Fabiano editore srl, Canelli 1999; 237-262.
29. Yap EY, Aung T. Pupil abnormalities on the first postoperative day after cataract surgery. International Ophthalmology 1996; 20: 187-192.
30. Gibbens MV, Goel R, Smith SE. Effect of cataract extraction on the pupil response to mydriatics. Br J Ophthalmol 1989; 73: 563-565.

31. Golnik KC, Hund PW, Apple DJ. Atonic pupil after cataract surgery. J Cataract Refract Surg 1995; 21: 170-175.
32. Mirza SA, Alexandridou A, Marshall T, Stavrou P. Surgically induced miosis during phacoemulsification in patients with diabetes mellitus. Eye 2003; 17: 194-199.
33. Koch DD, Samuelson SW, Villarreal VR. Changes in pupil size induced by phacoemulsification and posterior chamber lens implantation: consequences for multifocal lenses. J Cataract Refract Surg 1996; 22: 579-584.
34. Wang Y, Zhao K, Jin Y. Changes of higher order aberration with various pupil sizes in the myopic eye. J Refract Surg 2003; 19: 270-274.
35. Miki A, Iijima A, Takagi M, Usui T, Hasegawa S, Abe H, Bando T. Pupillography of relative

afferent pupillary defect contralateral to monocular mature cataract. *Can J Ophthalmol* 2006; 41: 469-471.

36. Hwang JM, Kim C, Kim JY. Relative afferent pupillary defect in patients with asymmetric cataracts. *J Cataract Refract Surg* 2004; 30: 132-136.
37. Hayashi K, Hayashi H. Pupil size before and after phacoemulsification in nondiabetic and diabetic patients. *J Cataract Refract Surg* 2004; 30: 2543-2550.
38. Sherafat H, Tabandeh H, Teimory M. Pupil function after phacoemulsification and extracapsular cataract surgery. *Eye* 2000; 14: 910.
39. Koch DD, Jardeleza TL, Emery JM, Franklin D. Glare following posterior chamber intraocular

lens implantation. J Cataract Refract Surg 1986; 12: 480-484.

40. Masket S. Relationship between postoperative pupil size and disability glare. J Cataract Refract Surg 1992; 18: 506-507.
41. Koch DD . Glare and contrast sensitivity testing in cataract patients. J Cataract Refract Surg 1998; 15: 158-164.
42. Elder MJ, Murphy C, Sanderson GF. Apparent accommodation and depth of field in pseudophakia. J Cataract Refract Surg 1996; 22: 615-619.
43. Hayashi K, Hayashi H. Stereopsis in bilaterally pseudophakic patients. J Cataract Refract Surg 2004; 30: 1466-1470.



44. Ravalico G, Baccara F, Bellavitis A. Refractive bifocal intraocular lens and pupillary diameter. *J Cataract Refract Surg* 1992; 18: 594-597.
45. Hayashi K, Hayashi H, Nakao F, Hayashi F. Correlation between pupillary size and intraocular lens decentration and visual acuity of a zonal-progressive multifocal lens and a monofocal lens. *Ophthalmology* 1995; 108: 2011-2017.
46. Salati C, Salvetat ML, Zeppieri M, Brusini P. Pupil size influence on the intraocular performance of the multifocal AMO-Array intraocular lens in elderly patients. *Eur J Ophthalmol* 2007; 17: 571-578.
47. Ligabue EA, Giordano C. Interpretation of aberrometry measurements in cataract surgery. *J Refract Surg* 2007; 23: 996-1004.

